

УДК: 502.55(21):553.98

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ СТРАТЕГИЙ ПО ВОССТАНОВЛЕНИЮ ЗАГРЯЗНЕННЫХ НЕФТЬЮ И НЕФТЕПРОДУКТАМИ ПРОМЫШЛЕННЫХ УЧАСТКОВ

С.В. МЕЩЕРЯКОВ¹,
М.П. ПАПИНИ², С.В. ОСТАХ¹,
О.С. ОСТАХ¹, В.С. КУШЕЕВА¹

¹ РГУ НЕФТИ И ГАЗА (НИУ)

ИМЕНИ И.М. ГУБКИНА,

² УНИВЕРСИТЕТ САПИЕНЗА Г. РИМ

В настоящей работе рассмотрены механизмы переноса загрязняющих веществ и их дальнейших превращений в почве и грунтовых водах в контексте возможного углеводородного загрязнения неводной жидкой фазой (NAPL), поступающей в экосистемы в результате аварий, разливов и утечек на объектах нефтегазового комплекса. Рассмотрен процесс «старения» техногенных NAPL, как процесс, вносящий коррективы в факторы динамики загрязнения и формирования углеводородных линз. На основе прогнозируемых факторов определены потенциальные угрозы экосистеме при эмиссии углеводородов в результате переноса «почва-вода», «почва-воздух». Приведены практические возможности моделирования динамики загрязненных нефтью грунтовых вод.

Ключевые слова: восстановление нарушенных земель, линза, линзовидная залежь, миграция нефти, нефтяное загрязнение, экосистема.

В силу своей организационно-технологической специфики нефтегазовый комплекс относится к числу основных отраслевых загрязнителей окружающей среды. В частности, многие объекты нефтегазовой промышленности являются наиболее значимыми по масштабу постоянными источниками углеводородного загрязнения (далее – УВ-загрязнения).

УВ-загрязнение формируется, как правило, в результате нарушений технологий производства работ, техногенных аварий и катастроф. Значительную опасность представляет последовательное загрязнение почв, геологических горизонтов, подземных вод и экосистемы в целом в результате миграции, сорбции

SCIENTIFIC AND TECHNICAL BASIS
FOR DEVELOPMENT OF RECOVERY
STRATEGIES FOR INDUSTRIAL
SITES POLLUTED WITH OIL AND OIL
PRODUCTS

S.V. MESCHERYAKOV, M.P. PAPINI,
S.V. OSTAKH, O.S. OSTAKH,
V.S. KUSHEEVA

The mechanisms of pollutants transport and their further transformations in soil and groundwater are considered in this paper with a focus on possible hydrocarbon contamination by a non-aqueous phase liquid (NAPL) that enters ecosystems because of accidents, spills and leaks at oil and gas facilities. The process of technogenic NAPLs «aging» is considered as a process that complements the factors of pollution dynamics and hydrocarbon lenses formation. Based on the predicted factors, potential ecological threats are identified when hydrocarbons are emitted as a result of the soil-water and soil-air transfer. Practical possibilities of modeling the oil-contaminated groundwater dynamics are presented.

KEYWORDS: restoration of disturbed sites, lens, petroleum lens, oil migration, oil pollution, ecosystem.

и перколяции техногенных углеводородных потоков, а также образования техногенных залежей, например, в виде линз. Поэтому существует потребность в создании специальной информационно-аналитической системы мониторинга за миграцией и трансформацией углеводородов в различных геохимических зонах. На основе данных инвентаризации загрязнения, получаемых в результате инженерно-экологических изысканий или результатов производственно-экологического мониторинга целесообразно проведение ситуационного моделирования и определение основных факторов, влияющих на поведение УВ-загрязнения, что в свою очередь позволяет разработать наибо-

лее эффективную и экологически-безопасную систему локализации и ликвидации техногенных потоков.

Несмотря на большое количество работ по математическому моделированию миграции нефтепродуктов, в настоящее время отсутствуют обобщающие работы, которые характеризовали бы проблему в целом – с анализом различных подходов и методик. Поскольку нефтепродукты относятся к классу жидкостей, которые не смешиваются с водой, теория их нахождения и миграции в подземной среде может базироваться на более разработанной теории передвижения воды в зоне аэрации, в которой воздух и вода взаимодействуют как несмешивающиеся флюиды.

В настоящее время не существует комплексного подхода к формированию предельных оценок содержания нефтепродуктов, критериев загрязненности почв и грунтов. Отсутствуют также методические основы и технические решения реализации комплексного и ресурсосберегающего технологического подхода при ликвидации глубинного УВ-загрязнения.

Целью настоящей работы является определение набора показателей и характеристик зоны, испытывающей техногенное влияние, в том числе вследствие УВ-загрязнения, а также формирование на их основе модельных представлений о процессах миграции и трансформации техногенных потоков и образования техногенных залежей.

Поведение углеводородов в почве определяется двумя противоположными группами факторов, разница в относительной интенсивности которых контролирует возможности миграции углеводородов в почвенных субстратах. От степени влияния одной или другой группы зависит характер поведения углеводородов в геологической среде, а именно, склонность к перемещению по профилю (формированию потоков) или к аккумуляции в виде углеводородных линз.

Дифференциацией подходов при рассмотрении нефтяного загрязнения геологической среды является отнесение загрязнителей к LNAPL (легкой неводной жидкой фазе) и DNAPL (плотной неводной жидкой фазе).

На миграцию неводной жидкой фазы (NAPL) и формы ее нахождения в зоне аэрации и горизонте грунтовых вод существенное влияние оказывают физические и физико-химические свойства нефти и нефтепродуктов: плотность, вязкость, растворимость, капиллярное давление, сорбируемость, теплота испарения, температура кипения, поверхностное натяжение на границе с водой и воздухом [2]. При этом наиболее подвижными фракциями нефти считаются алканы и полиароматические углеводороды [1, 3, 6, 8, 9].

Базовыми параметрами, влияющими на миграцию нефти и нефтепродуктов в почвах, являются: размер слагающих элементов грунта, гранулометрический и микроагрегатный состав грунта, форма и характер поверхности слагающих элементов грунта, пористость и трещиноватость грунтов [9], сорбционная способ-

С. В. МЕШЕРЯКОВ, М. П. ПАПИНИ,
С. В. ОСТАХ, О. С. ОСТАХ, В. С. КУШЕЕВА
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ДЛЯ
РАЗРАБОТКИ СТРАТЕГИЙ ПО ВОССТАНОВЛЕНИЮ
ЗАГРЯЗНЕННЫХ НЕФТЬЮ И НЕФТЕПРОДУКТАМИ
ПРОМЫШЛЕННЫХ УЧАСТКОВ

ность; определяющими параметрами – влажность, коэффициент фильтрации, дисперсность, плотность скелета, плотность частиц грунта, диаметр частиц, проницаемость, содержание органики в грунте – из которых, проницаемость и глубина распространения являются наиболее информативными показателями. При этом основными факторами являются водно-термический режим почвы и механический состав (рис. 1).

Процессу формирования линз соответствует образование следующих видов загрязнения: почвогрунтов; грунтов зоны аэрации; горизонта грунтовых вод, которые чаще всего образуются в местах непосредственного разлива нефти и нефтепродуктов и на участках близкого к поверхности залегания загрязненных грунтовых вод в результате подъема их уровня (вторичное загрязнение). Указанные виды загрязнения геологической среды взаимосвязаны и оказывают непосредственное влияние на характер и масштабы взаимного проникновения.

Линзы образуются у зеркала вод первого от поверхности горизонта грунтовых вод и мигрируют по его уклону, частично распределяясь в пределах зоны аэрации и направлении движения грунтовых вод.

Процессы трансформации УВ-загрязнения и формирования геохимической зональности могут привести к развитию вторичного загрязнения. На ряду с этим фактором важную роль имеет возраст углеводородного загрязнения [5].

«Старение» УВ-загрязнения начинается с момента первичного поступления углеводородов в экосистему, сопровождающегося миграцией плотной неводной жидкой фазы, ее аккумуляцией и трансформацией.

Процессы миграции нефтепродуктов и продуктов преобразования УВ-загрязнения непосредственно определяют потенциальные риски достижения опасными компонентами уязвимых структур ландшафта либо критических объектов природопользования.

Неоднозначность настоящего процесса обусловлена принципиальными различиями функциональных зависимостей изменения свойств нефтепродуктов и почвенных субстратов при механическом распространении углеводородсодержащих флюидов в последних.

Направление техногенных потоков определяется изоженными выше факторами, однако в целом можно отметить, что со временем УВ-поток мигрирует вглубь геологической среды, формируя глубинное УВ-загрязнение (рис. 2). Также происходит процесс самоочищения нефтезагрязненных грунтов зоны аэрации, сопровождающийся газовыми эманациями.

На окончательной стадии формирования глубинного УВ-загрязнения, его можно условно подразделить на зону полного насыщения вмещающих пород нефтепродуктов, и обширную зону частичного насыщения, образующуюся при движении техногенных потоков по основной ветви впитывания и основной ветви дренирования [10].

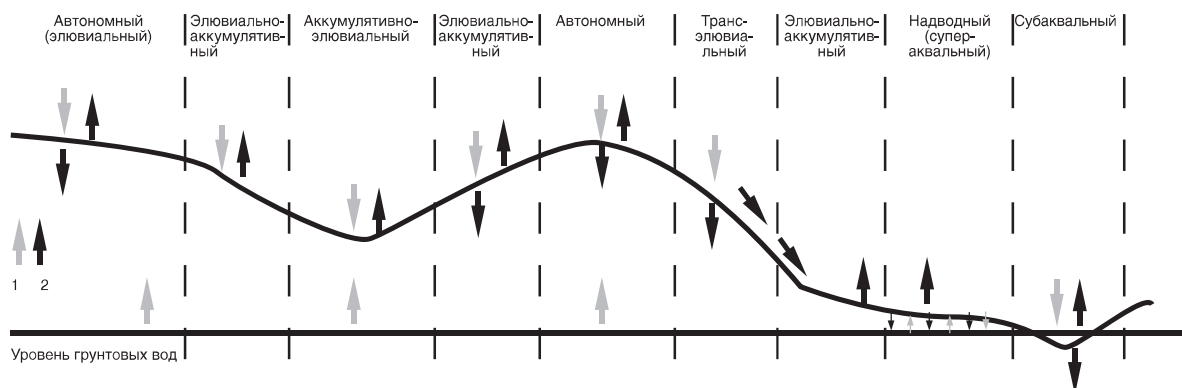


Рис. 1.

Основные типы элементарных ландшафтов [7]: 1 – поступление веществ в ландшафт (из атмосферы, грунтовых вод); 2 – удаление веществ из ландшафта в атмосферу, из грунтовых вод в поверхностные воды

УВ-загрязнение геологической среды, характеризуется сложной многоуровневой структурой, величина насыщенности нефтью и нефтепродуктами которой редко превышает 50%, а иногда снижается до 5–10%. Обобщение существующей информации в рассматриваемой сфере, а также модельные эксперименты позволили сформировать фазовую картину, иллюстрирующую формы и элементы загрязнения геологической среды (рис. 2).

В качестве мероприятий по предотвращению отрицательного воздействия на геологическую среду рассматриваются системы мониторинга, позволяющие обнаруживать утечки нефтепродуктов до формирования ими глубинных загрязнений.

Научно-обоснованная технология идентификации и мониторинга нефтяных загрязнений должна быть разработана на основе комплексного исследования особенностей их трансформации в природных геосистемах и геологической среде.

Своевременная идентификация УВ-загрязнения позволит не допустить распространения его за пределы первоначального поступления, а также подобрать оптимальный технологический подход для ликвидации этого загрязнения и восстановления прилегающих территорий.

Ведение мониторинга на каждой стадии технологического процесса и в период после его реализации должно базироваться на создании и оборудовании специальной режимной сети и наличии долгосрочной программы наблюдений.

Весь процесс системного мониторинга можно представить в виде логической последовательности:

«измерение» → «анализ» → «описание» → «моделирование» → «оптимизация».

Количественная и качественная оценка техногенной залежи или потока осуществляется методами гидрогеологического и дистанционного геохимического исследования, сопровождающимися детальным анализом состава загрязнения.

Мониторинг, состоящий из геохимических съемок и геофизических методов, должен давать возможность не только оконтурить площадь пятна, но и выявлять глубину распространения зоны загрязнения и содержание в ней нефтепродуктов.

На базе полученных данных возможна разработка геoinформационного проекта.

Указанная оценка УВ-загрязнения окружающей среды является начальной стадией эколого-восстановительных (реабилитационных) работ [4].

Помимо очевидной экологической опасности, вторичные техногенные потоки в некоторых случаях представляют определенный коммерческий интерес, поскольку в благоприятных условиях большая часть нефтепродуктов может быть извлечена и переработана.

Разработка оптимальных схем использования технологий и технических решений при обнаружении и ликвидации глубинного УВ-загрязнения должна быть направлена на повышение технического и экологического уровня объектов нефтепродуктообеспечения.

Наиболее перспективные технологические подходы основаны на физико-химических и биологических методах.

Физико-химические методы зачастую применимы при значительных концентрациях углеводородов. Для почвенной очистки к ним можно отнести промывку и термические методы обезвреживания. Перспективным направлением в сфере защиты подземных вод является создание реакционных наполненных сорбентом или биологически активным материалом подземных барьеров, предназначенных для предотвращения распространения загрязнителей за пределы охраняемой зоны.

К наиболее распространенным адсорбирующим материалам относятся пенополиуретан, активированный уголь, резиновая крошка, древесные опилки, пемза, торф, торфяной мох и т.п. Перспективно применение гранулированных адсорбентов, обладающих

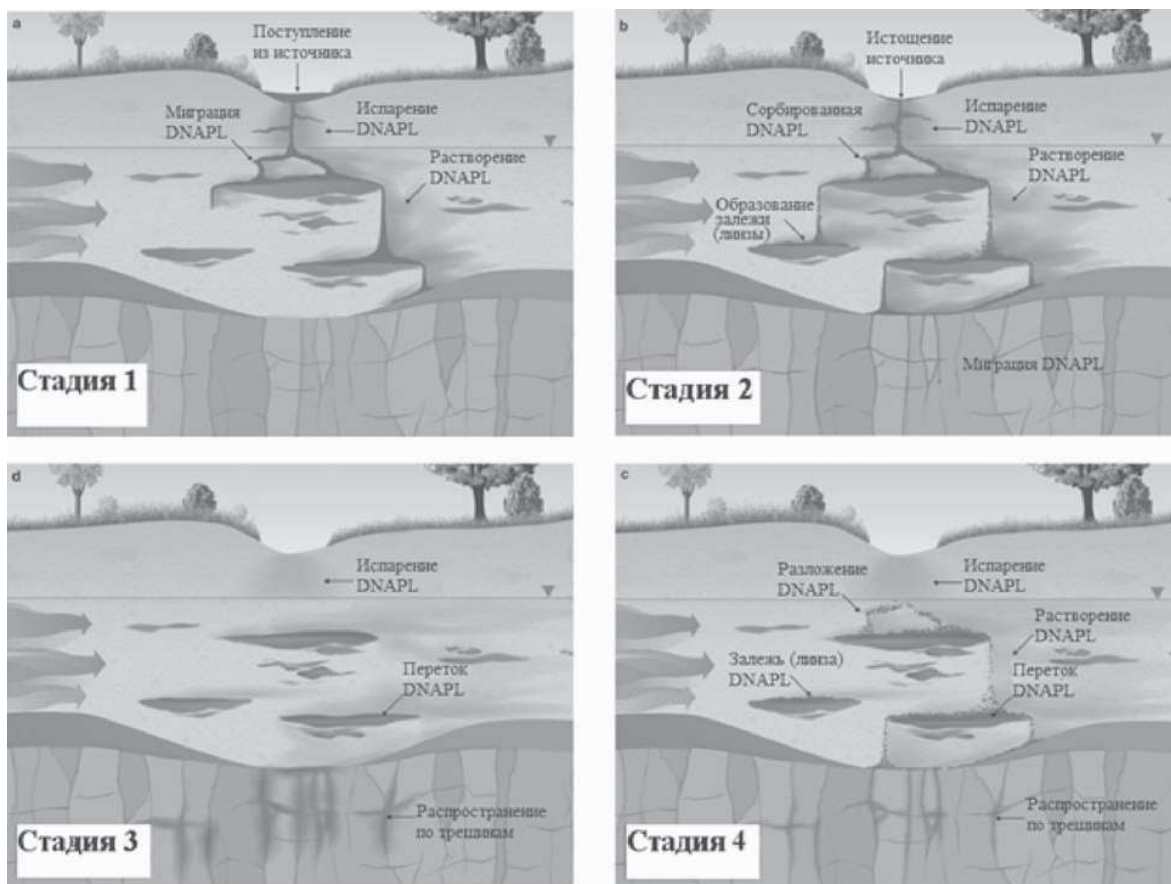


Рис. 2. Последовательное «старение» УВ-загрязнения: 1 – поступление УВ в окружающую среду, 2 – перераспределение потока, 3 – истощение потока, 3 – растворение и «старение»

магнитными свойствами, которые после адсорбции нефти легко удаляются магнитом.

Биологические методы основаны на способности микроорганизмов деструктурировать органический субстрат. Применение биопрепаратов со специально подобранными штаммами ограничивается климатическими условиями и оптимальным концентрацией загрязнителя. Биологическая очистка применима и по отношению к нефтезагрязненным грунтам при использовании закачки предварительно активированного биопрепарата через скважины вглубь грунта и для очистки нефтезагрязненных вод с использованием биореакторов и биоскрубберов.

Микроорганизмы, деградирующие нефть, являются обычными представителями биоценозов почв. Во всех почвах в большом количестве содержатся микроорганизмы, способные окислять парафины и значительно реже – летучие углеводороды. В почвах с загрязнением нефтью находится значительно больше микроорганизмов, использующих n-алканы и ароматические углеводороды.

Изучение деятельности микроорганизмов как одного из важнейших факторов почвообразования даст ключ к познанию сложного механизма биodeградации нефти в почве и способов управления им.

Извлечение нефтяного загрязнения при высоком содержании его в среде осуществляется выкачиванием или экскавацией. Однако дальнейшая ликвидация УВ-загрязнения должна сопровождаться мерами для увеличения подвижности загрязняющих веществ, извлечь которые традиционными методами невозможно. Для этих целей возможно применение электроподогрева, горячего воздуха или водяного пара.

Имеют место также комбинированные методы, являющиеся сочетанием двух и более типов процессов, один из которых может быть преобладающим.

Реализация стратегий по восстановлению загрязненных участков позволит достичь улучшения региональных целевых показателей состояния окружающей среды, а именно: уменьшить возможные объемы и границы распространения нефтепродуктов; сократить показатели экономических рисков и границ распро-

странения неблагоприятных воздействий поражающих факторов загрязнения. Это в свою очередь позволит минимизировать затраты, которые предусмотрены эколого-восстановительными платежами и штрафами в следствии снижения стоимости планируемых эколого-восстановительных (реабилитационных) работ.

ЛИТЕРАТУРА

1. **ГЕННАДИЕВ А.Н.** Геохимия полициклических ароматических углеводородов в горных породах и почвах. М.: Изд-во МГУ, 1996. 192 с.
2. **МАЗЛОВА Е.А., МЕЩЕРЯКОВ С.В.** Экологические характеристики нефтяных шламов // Химия и технология топлив и масел. 1999. №1. С. 40–42.
3. **ОБОРИН А.А., ХМУРЧИК В.Т.** Нефтезагрязненные биоценозы (Процесса образования, научные основы восстановления, медико-экологические проблемы). Монография. Пермь: Перм. гос. ун-т; Перм. гос. техн. ун-т, 2008. С. 104–127.
4. **ОСТАХ С.В., МИРОНОВА О.С.** Мультиценарное прогнозирование последствий глубинного нефтяного загрязнения почвенных объектов // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2014. №9. С. 47–51.
5. **ПАПИНИ М.П., ОСТАХ С.В., ОСТАХ О.С., КУШЕЕВА В.С.** Научно-техническая база восстановления нефтезагрязненных почв и прилегающих геолого-технологической системы нефтегазодобычи // Вестник РАЕН. 2017. Т. 5. №5. С. 80–84.
6. **ПИКОВСКИЙ Ю.И.** Природные и техногенные потоки углеводородов в окружающей среде. М.: Изд-во МГУ, 1993. 208 с.
7. **ПОЛЬНОВ Б.Б.** Геохимические ландшафты. Сб. Географические работы. Географгиз, 1952.
8. **СЕРЕДИН В.В.** Оценка геоэкологических условий санации территорий, загрязненных нефтью и нефтепродуктами. Пермь: Перм. гос. техн. ун-т, 1998. 153 с.
9. **СОЛНЦЕВА Н.П., ГУСЕВА О.А., ГОРЯЧКИН С.В.** Моделирование процессов миграции нефти и нефтепродуктов в почвах тундры // Вестник Московского университета, Серия 17. Почвоведение. 1996. №2. С. 10–18.
10. **ШАКУРО С.В.** Применение геофизических методов при изучении техногенных нефтепродуктов // Разведка и охрана недр. 2005. № 8. С. 24–26.

Мещеряков Станислав Васильевич,
д.т.н., профессор, зав. кафедрой Промышленной экологии
РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина,

Папини Марко Петранжели,
д.т.н., профессор Университета Сапиенза г. Рим (Италия),

Остах Сергей Владимирович,
к.т.н., доцент, РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина,

Остах Оксана Сергеевна,
ассистент РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, ;

Кушеева Виолетта Сергеевна,
студент РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина,

☎ 119991, г. Москва, Ленинский пр-т, д. 65, комн. 534
тел.: +7 (926) 880-72-14, e-mail: ostah2009@yandex.ru